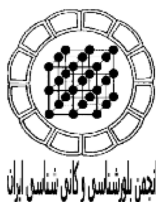
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و هفتم، شمارهٔ دوم، تابستان ۹۸، از صفحهٔ ۴۳۷ تا ۴۴۸



کانی‌شناسی و زمین دمافشارسنجی شیست‌های رسی دگرگونه، آمفیبولیت و گارنت-آمفیبولیت‌های مجموعه دگرگونی گل‌گهر، جنوب غرب سیرجان، ایران مرکزی

رضوان میرزایی راینی[1]، علی احمدی*[1]، حسن میرنژاد[2]، محمدبومری[1]، کازوناکاشیما[3]

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

۳- بخش علوم زمین، دانشگاه یاماگاتا، ژاپن

(دریافت مقاله: ۹۷/۲/۱۱، نسخه نهایی: ۹۷/۸/۱)

چکیده: مجموعه دگرگونی گل‌گهر در ۵۵ کیلومتری جنوب غرب سیرجان و در بخش شرقی پهنه سنندج-سیرجان قرار دارد. این مجموعه از سنگ‌های دگرگونه رسی، ماسه سنگ تیره و کربناتی تشکیل شده است. شواهد صحرایی و بررسی‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهند که سنگ مادر این سنگ‌ها شامل تناوب شیل و ماسه سنگ به همراه لایه‌های کربناته در بخش بالایی بوده است. در سنگ های رسی دگرگونه‌های مورد بررسی، گارنت‌ها غنی از آلماندین (۶۱٫۳ تا ۶۳٫۷) هستند. ترکیب بیوتیت‌ها در گستره بین سیدروفیلیت و آنیت و ترکیب پلاژیوکلاز از آلبیت تا انورتیت (در آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت‌ها) و الیگوکلاز و آندزین (در شیست‌ها) متغیر است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که آمفیبولیت و گارنت‌آمفیبولیت‌ها از نوع پارا آمفیبولیت هستند. گستره دمایی به‌دست آمده بر اساس زوج گارنت – بیوتیت و فشارهای برآورد شده با روش استفاده از زمین دماسنج گارنت-بیوتیت-پلاژیوکلاز-کوارتز GBPQ برای این سنگ‌ها نشان می‌دهد که، شیست‌های دگرگونه رسی منطقه گل‌گهر در گستره دمایی ۵۷۸-۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و گستره فشاری ۳٫۷ تا ۴٫۶ کیلوبار (رخساره‌های شیست سبز و آمفیبولیت پایینی) تشکیل شده‌اند. بررسی‌های دما-فشارسنجی انجام شده بر اساس شیمی کانی آمفیبول در آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت‌ها به ترتیب دماهای ۵۸۹ تا ۶۱۳ و ۶۱۳ تا ۶۴۱ درجه سانتیگراد و فشارهای ۴٫۷ تا ۴٫۹ و ۴٫۳ تا ۵٫۶ کیلوبار را نشان می‌دهند که بیانگر شرایط رخساره آمفیبولیت میانی برای این سنگ‌ها است. شواهد صحرایی و مطالعات زمینشیمیایی نشان‌دهنده تغییر ناشی از افزایش دما و فشار دگرگونی از شیست‌ها تا آمفبیولیت وگارنت آمفیبولیت است که با شواهد پاراژنتیکی کانی‌ها کاملاً هماهنگ می باشد.

واژه‌های کلیدی: *زمین دمافشارسنجی؛ شیست‌های دگرگونه رسی؛ آمفیبولیت؛ گارنت‌آمفیبولیت؛ مجموعه دگرگونی گل‌گهر؛ پهنه سنندج-سیرجان؛ ایران مرکزی.*

مقدمه

مجموعه دگرگونی گل‌گهر در جنوب غرب شهرستان سیرجان یکی از مناطق بسیار جالب و البته مهم برای بررسی سرزمین-های دگرگون شده است، زیرا میزبان یکی از بزرگترین کانسارهای آهن در ایران و خاورمیانه است. در این مجموعه، سنگ‌های دگرگونی مختلف از جمله دگرگونه رسی، متابازیتی و متاکربناتی وجود دارند. پژوهش‌های مختلفی در این منطقه انجام شده است، از جمله [۱] زمین‌شیمی و خاستگاه کانسار شماره ۲ گل‌گهر [۱] و همبرزایی و سنگ‌زایی کانسار سنگ آهن گل گهر [۲] بررسی شده است. افزون بر این، الگوی کانسارسازی [۳]، خاستگاه [۴] و شکل‌گیری کانسار [۵] نیز بررسی گردیده است. زمین‌شیمی عناصر فرعی و کمیاب

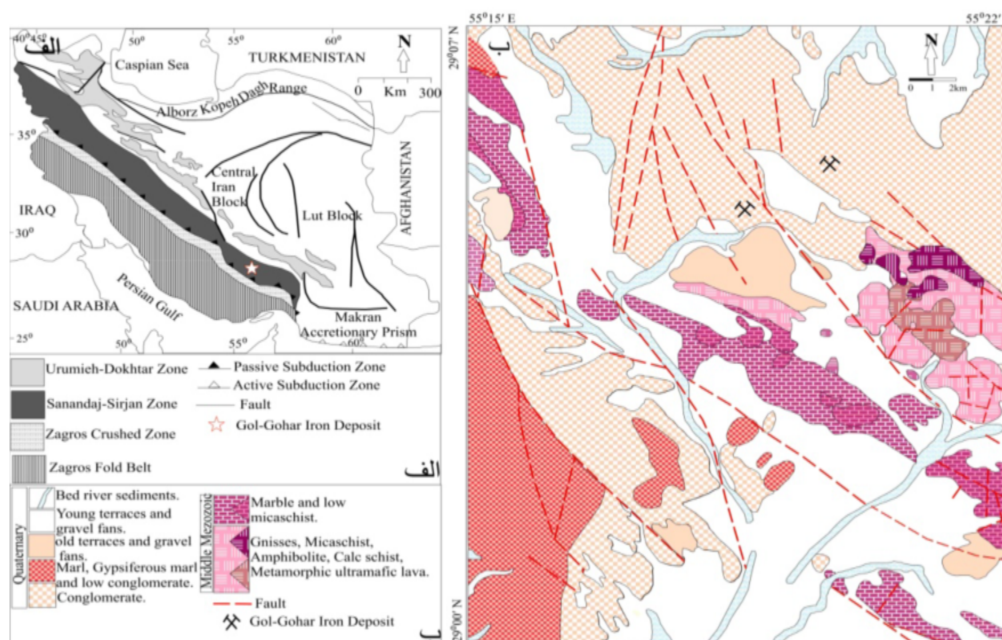
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۱۴۰۵۸۲۱، پست الکترونیکی: aahmadi@science.usb.ac.ir

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.437]

سنگ آهن و خاستگاه گوگرد و کانی‌های سولفیدی موجود در سنگ آهن توسط ترابیان و دلفاری [۷،۶] بررسی شده است. بیشتر پژوهش‌های انجام شده در منطقه پیرامون شکل‌گیری کانسار بوده است و دما و فشارسنجی متاپلیت‌های موجود در منطقه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بررسی زمین‌شیمی و دما فشارسنجی سنگ‌های متاپلیتی که مجاور کانسار قرار دارند از اهمیت بالایی برخوردار است. زمین دمافشارسنجی معتبر یکی از ابزارهای مهم و اساسی در تفسیر شرایط دگرگونی و فهم تکامل پوسته‌ای است [۸]. با پیشرفت‌های عمده در زمینه ترمودینامیک سنگ‌ها، زمین دماسنج و زمین‌فشارسنج‌های بسیاری جهت تعیین شرایط دگرگونی سنگ‌ها از رخساره‌های شیست سبز تا گرانولیت و دماهای بالاتر و همچنین از فشارهای پایین تا بالا وجود دارند [۸]. در این پژوهش با استفاده از تجزیه شیمیایی نقطه‌ای (ریز پردازش الکترونی) کانی‌های بیوتیت، آمفیبول، گارنت و پلاژیوکلاز، شرایط دما و فشار حاکم بر دگرگونی متاپلیت‌ها تعیین شده است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در تفسیر نتایج مربوط به شکل‌گیری کانسار نیز مؤثر باشد.

زمین‌شناسی عمومی

مجموعه دگرگونی گل‌گهر در ۵۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان سیرجان و بخش جنوبی پهنه سنندج-سیرجان واقع است [۹] (شکل‌های ۱ الف و ب). پهنه ساختاری سنندج-سیرجان به‌صورت نوار باریکی با طول حدود ۱۵۰۰ کیلومتر و عرض تقریبی ۲۰۰ کیلومتر، بین شهرهای سنندج در شمال-غرب و سیرجان در جنوب‌شرق قرار دارد. در مقایسه با سنگ-های آتشفشانی و رسوبات مزوزوئیک که در طول پهنه سنندج سیرجان فراوان وجود دارند، سنگ‌های پالئوزوئیک به نسبت کم هستند و تنها در بخش جنوبی پهنه سنندج سیرجان قرار دارند [۱۳]. سنگ‌های دگرگون موجود در منطقه گل‌گهر عبارتند از متاپلیت‌ها، متابازیت‌ها و متاکربنات‌ها. متاپلیت‌های موجود در منطقه به دلیل حضور کانیهای شاخص رخساره شیست سبز به رنگ‌های سبز روشن تا تیره مایل به سیاه دیده می‌شوند و انواع سنگ‌های شیستی به شدت متورق تا گنیس‌ها را شامل می‌شوند. متابازیت‌ها شامل آمفیبول شیست‌ها، آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت‌ها هستند که به دلیل سختی بالا طی بازدیدهای صحرایی، به راحتی از سایر واحدها قابل شناسایی هستند. سنگ‌های متاکربناتی به صورت متناوب همراه با متاپلیت‌ها وجود دارند و بالای همه واحدهای سنگی منطقه را نیز پوشانده‌اند. اندازه گیری نسبت های ایزوتوپی آرگون برای بیوتیت و هورنبلند شیستهای مجموعه دگرگونی گل‌گهر، سن دگرگونی را ژوراسیک میانی نشان داده است [۱۴]. منطقه گل‌گهر اغلب از آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده شده است و رخنمون‌های محدودی از سنگ‌های دگرگونی در جنوب و جنوب‌غرب، سنگ‌های رسوبی در شرق و توده نفوذی گرانیت میلونیتی شده، به شکل گنبد کم ارتفاع، در جنوب کانسار برونزد دارند [۱۲].



شکل۱ الف) جایگاه منطقه گل‌گهر بر پهنه ساختاری سنندج-سیرجان و موقعیت این پهنه نسبت به دیگر پهنه‌های ساختاری در ایران [۹-۱۱]؛ ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه گل‌گهر و جایگاه کانسار آهن گل‌گهر بر آن [۱۲].

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.437]

روش بررسی

برای دستیابی هدف‌های یاد شده، پس از بررسی و ارزیابی اطلاعات و گزارش‌های موجود، بازدید از منطقه و بررسی شواهد صحرایی، از مغزه‌های حفاری و رخنمون‌های سنگی نمونه برداری شد. از نمونه‌های برداشت شده، تعداد ۱۰۰ مقطع نازک و نازک صیقلی تهیه شد. پس از بررسی‌های سنگ‌نگاری مقاطع نازک صیقلی بر اساس تنوع کانی‌شناسی و رخساره‌های دگرگونی، تعدادی از آنها برای تجزیه شیمیایی کانی‌ها انتخاب شد. تجزیه شیمیایی نمونه‌ها توسط دستگاه ریزکاو الکترونی در بخش علوم زمین و محیط زیست دانشگاه یاماگاتای ژاپن انجام گرفت. عناصر اصلی در کانی‌ها توسط ابرکاوشگر خودکار مدل JEOL JXA-8600M با ولتاژ شتاب دهنده ۱۵keV و جریان پرتو ۲nA تجزیه شدند. استانداردهای به‌کار رفته برای آپاتیت، ولاستونیت، آلبیت و آدولاریا مرکب از SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Cr_2O_3, Fe_2O_3, MnO, MgO, CaF_2 و NaCl بودند. برای بررسی‌های زمین دمافشارسنجی فرمول شیمیایی هر کانی بر اساس داده‌های به‌دست آمده، محاسبه شد و سپس از داده‌های بدست آمده برای محاسبه دما و فشار استفاده شده و سرانجام نتایج آن تفسیر گردید.

سنگ‌نگاری سنگ‌های منطقه

متاپلیت‌ها از فراوان‌ترین سنگ‌های موجود در منطقه هستند. سطوح براق سنگ‌های دگرگونه رسی به دلیل فراوانی میکاها، و شیستوارگی این سنگ‌ها در شناسایی آن‌ها طی بازدیدهای صحرایی مؤثر است. این سنگ‌ها شامل میکاشیست‌ها، گارنت میکاشیست‌ها و سیلیمانیت‌شیست‌ها هستند. متابازیت‌های موجود در منطقه گل‌گهر (آمفیبول شیست، آمفیبولیت و گارنت آمفیبولیت‌ها) بصورت همیافت با سنگ‌های دگرگونه رسی حضور دارند. ترکیب کانی‌شناسی و بررسی سنگ کل متابازیت‌ها نشان می‌دهد که آن‌ها از نوع پاراآمفیبولیت هستند. سختی سنگ‌های متابازیتی شناسایی آن‌ها را در بازدیدهای صحرایی آسان کرده است.

میکاشیست‌ها: از نظر سنگ‌نگاری، این سنگ‌ها دارای مجموعه کانی‌های اصلی کوارتز (۳۰-۲۰ درصد)، موسکویت (۲۰-۱۰ درصد)، بیوتیت (۳۰-۲۰ درصد)، پلاژیوکلاز (۱۵-۱۰ درصد) هستند. همچنین کلسیت، اپیدوت و کانی‌های کدر شامل مگنتیت و به مقدار کم‌تر پیریت (۱۰-۵ درصد) به صورت کانی‌های فرعی حضور دارند (شکل ۲ الف). حضورکانی‌های میکایی سبب شیستوارگی آشکار و رنگ براق در این سنگ‌ها شده است. مجموعه کانی‌های موجود در این سنگ نشان می‌دهد که سنگ در رخساره شیست سبز دگرگون شده است.

گارنت میکاشیست: این سنگ‌ها اغلب شامل بیوتیت (۳۰-۲۰)، موسکویت (۲۰-۱۰ درصد)، گارنت (۲۰-۱۰ درصد)، فلدسپار قلیایی از نوع ارتوکلاز (۱۰-۵ درصد)، کوارتز (۱۵-۱۰ درصد) به عنوان کانی‌های اصلی، و اپیدوت، کلریت، کلسیت و کانی‌های کدر به عنوان کانی‌های فرعی هستند (شکل۲ ب). گارنت‌های موجود در این نمونه‌ها بصورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و در اندازه‌های حدود ۵ میلیمتر تا یک سانتی‌متر حضور دارند و در برخی از نمونه‌ها دربردارنده میانبارهایی از کوارتز و بیوتیت هستند که بافت غربالی را تشکیل داده‌اند. تورق زمینه سنگ تورق اسلیتی تا شیستوارگی ریزدانه است. مجموعه کانی‌های موجود در این سنگ نشان می‌دهد که سنگ در رخساره شیست سبز دگرگون شده است.

سیلیمانیت شیست: سیلیمانیت موجود در سیلیمانیت شیست‌های منطقه گل‌گهر به‌صورت بلورهای طویل و سوزنی شکل دیده می‌شود که سبب تشکیل بافت نخ‌شکفتی در این سنگ‌ها شده است. سیلیمانیت شیست‌های موجود در منطقه از کانی‌های اصلی گارنت (۱۵-۱۰ درصد)، بیوتیت (۲۰-۱۰ درصد)، موسکویت (۱۰-۵ درصد)، کوارتز (۱۰-۵ درصد)، فلدسپات قلیایی (۱۰-۵ درصد) و سیلیمانیت (۳۰-۲۰ درصد) تشکیل شده‌اند. کانی‌های کدر که بیشتر از نوع مگنتیت هستند به‌صورت فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند (شکل ۲ پ). حضور سیلیمانیت در سنگ‌های منطقه نشان از افزایش دما و پیشرفت دگرگونی دارد.

آمفیبول شیست: این سنگ‌ها از مجموعه کانی‌های آمفیبول (۷۰-۶۰ درصد)، کوارتز (۲۰-۱۰ درصد)، کلریت (۱۰-۵ درصد)، موسکویت (۱۰-۵ درصد)، اپیدوت و کانی‌های کدر تشکیل شده‌اند. زوئیزیت و روتیل بصورت کمیاب حضور دارند. آمفیبول‌های موجود در این سنگ‌ها بیشتر به‌صورت سوزنی هستند و بافت نخ شکفتی دارند (شکل ۲ ت). حضور فراوان آمفیبول‌های سوزنی در برخی از نمونه‌ها سبب ایجاد خطوارگی چشم‌گیری شده است و عدم حضور پلاژیوکلاز در این سنگ‌ها انتخاب واژه آمفیبول شیست را برای این سنگ‌ها مناسب‌تر می‌کند. روتیل نیز در این نمونه‌ها با رنگ قهوه‌ای مایل به قرمز دیده می‌شود.

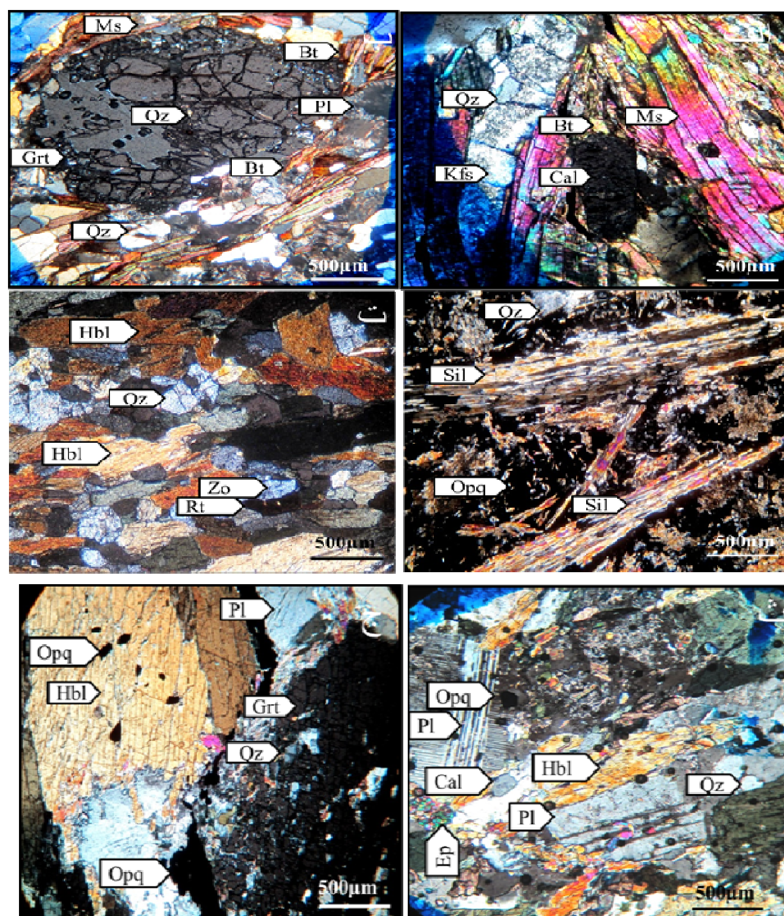
آمفیبولیت: در منطقه مورد بررسی، آمفیبولیت‌ها بیشتر به صورت همیافت با سایر سنگ‌های منطقه به ویژه شیست‌ها دیده می‌شوند. این سنگ‌ها در نمونه دستی به رنگ سبز تیره بوده و منشورهای هورنبلند در این نمونه‌ها قابل دیده هستند. اجزای اصلی سازنده سنگ را کانی‌های هورنبلند، پلاژیوکلاز و با مقادیر کمتر فلدسپات قلیایی و کوارتز تشکیل می‌دهند

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.437]

(شکل ۲ ث). اپیدوت، اسفن، بیوتیت، کلریت، کلسیت و کانی-های کدر نیز به صورت فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند.

بلورهای هورنبلند با فراوانی حدود ۴۰ درصد در این سنگ-ها حضور دارند و در راستای فشارهای زمین‌ساختی به صورت موازی با یکدیگر آرایش یافته و جهت یافتگی مشخص ایجاد کرده‌اند که بافت نخ شکفتی را در سنگ گسترش داده است. اندازه‌ی بلورهای هورنبلند متنوع است و در برخی از آمفیبولیت‌های درشت بلور، اندازه‌ی آن‌ها به بیش از یک سانتی‌متر می‌رسد. این بلورهای هورنبلند به دو صورت منشوری و دوکی شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار سبزرنگ با چند رنگی سبز تا قهوه‌ای کمرنگ حضور دارند. پلاژیوکلاز موجود در آمفیبولیت-های مورد بررسی بافراوانی حدود ۳۰ درصد، غنی از آلبیت و الیگوکلاز هستند و به‌صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار دیده می‌شوند. کوارتز در بیشتر نقاط این سنگ‌ها به چشم می‌خورد. این دانه‌های کوارتز به صورت ریز و بی‌شکل در زمینه سنگ دیده می‌شوند.

گارنت آمفیبولیت: در برخی از آمفیبولیت‌ها، درشت بلورهای گارنت با قطر حدود ۵ میلی‌متر و با فراوانی حدود ۱۰ درصد دیده می‌شوند (شکل ۲ ج). این بلورهای گارنت بیشتر نیمه - شکل‌دار بوده و گاهی دارای میانبارهایی از کواتز نیز هستند. بلورهای کوارتز نیز به مقدار اندک و حدود ۱۰ درصد حجم سنگ وجود دارند که در اثر تنش‌های طی دگرریختی به حالت ریزدانه درآمده‌اند و خاموشی موجی نشان می‌دهند. فلدسپات-های قلیایی، پلاژیوکلاز (۴۰ درصد) و هورنبلند (۴۵ درصد) از کانی‌های اصلی این سنگ‌ها هستند. کلریت و کانی‌های کدر نیز بصورت فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند. بلورهای تیتانیت نیز جزو کانی‌های کمیاب پراکنده در این سنگ‌ها هستند. بافت-های دیده شده در گارنت آمفیبولیت‌های منطقه بیشتر از نوع نخ شکفتی و غربالی است.



شکل۲ تصاویر میکروسکوپی از متاپلیت‌های منطقه گل‌گهر: الف) میکاشیست‌های منطقه. ب) درشت بلور گارنت به همراه موسکویت و بیوتیت در گارنت میکاشیست‌های منطقه. پ) رشته‌های سیلیمانیت به همراه کانی‌های کدر در سیلیمانیت شیست‌ها. ت) آمفیبول شیست‌های منطقه. ث) آمفیبولیت‌های منطقه به همراه جهت‌یافتگی بلورهای آمفیبول و پلاژیوکلازها با ماکل چندریختی و ج) گارنت آمفیبولیت‌ها. همه تصاویر در نور قطبیده متقاطع (XPl) ثبت شده‌اند. علائم اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۵] است.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.437]

شیمی کانی‌ها

بررسی شیمی کانی‌ها نقش مهمی در شناخت شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل سنگ‌های منطقه دارد. در این پژوهش ترکیب دقیق شیمی کانی‌ها با استفاده از تجزیه ریزکاو الکترونی بر کانی‌های اصلی و فرعی، تعیین و سپس با استفاده از نتایج شیمی کانی‌های بیوتیت، گارنت، پلاژیوکلاز و آمفیبول، شرایط دما و فشار طی دگرگونی مشخص شد.

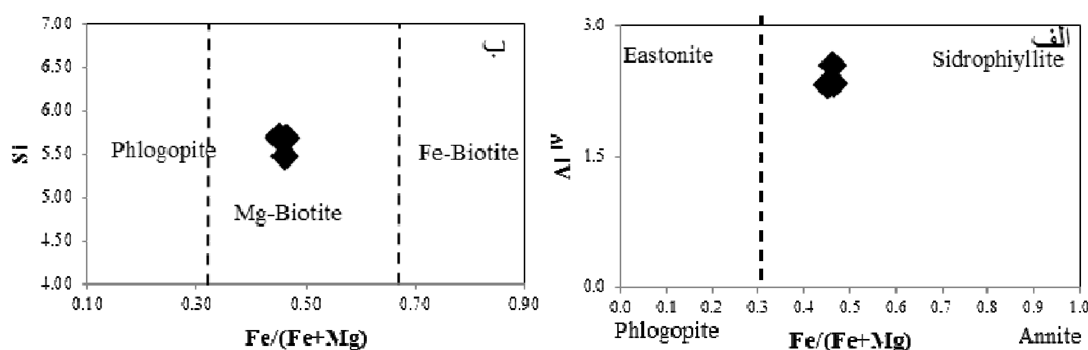
بیوتیت: بیوتیت یکی از کانی‌های مهم فرومنیزین در سنگ‌هاست. از ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها می‌توان برای تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل این کانی استفاده کرد. نتایج تجزیه ریزکاوالکترونی بیوتیت‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

فرمول ساختاری بیوتیت و نوع آن‌ها بر اساس نتایج تجزیه شیمی و تعداد ۲۲ اکسیژن تعیین شده است. بیوتیت محلول جامد چهار عضو انتهایی یعنی آنیت $KFe_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$، سیدروفیلیت $KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$، فلوگوپیت و ایستونیت $KFe_2Al[Al_2Si_2O_{10}](OH)_2$، $Mg_2Al[Al_2Si_2O_{10}](OH)_2$ است که بر پایه این چهار فاز، نموداری به نام چهار ضلعی ASPE طراحی شده است که برای تعیین ترکیب میکاهای هشت‌وجهی سه‌گانه به‌کار می‌رود. در این چهارضلعی، دو متغیر $Fe/(Fe+Mg)$ و Al^{IV} به کار گرفته شده‌اند. ترکیب اغلب بیوتیت‌های سنگ‌های دگرگونی منطقه گل‌گهر در نمودار رده‌بندی میکاها [۱۶]، در گستره ترکیبی بین سیدروفیلیت و آنیت قرار می‌گیرند (شکل ۳ الف). همه نمونه‌ها دارای $Mg/(Mg+Fe)>5$ و $Al_{total}>3$ هستند. نمودار تغییرات $Fe/(Fe+Mg)$ و Si [۱۷] نشان می‌دهد که این نوع بیوتیت‌ها از نوع بیوتیت‌های غنی از منیزیم هستند (شکل ۳ ب).

جدول۱ نتایج تجزیه ریزکاوالکترونی بیوتیت‌های منطقه گل‌گهر (از درون کانی گارنت) مقادیر F و Cl اندازه‌گیری و مقدار OH محاسبه شده است. همه Fe در این نمونه‌ها دوظرفیتی فرض شده است.

نقاط	۱-۲	۱-۴	۱-۵
Garnet Micaschist (Biotite)			
Oxide composition (wt%)			
SiO_2	۳۸٫۴۶	۳۸٫۱۱	۳۵٫۰۷
TiO_2	۰٫۷۹	۰٫۸۶	۰٫۹۲
Al_2O_3	۱۸٫۵۶	۱۸٫۱۵	۱۷٫۹۳
FeO	۱۷٫۵۴	۱۷٫۸۴	۱۷٫۴۳
MnO	۰٫۱۷	۰٫۰۷	۰٫۱۸
MgO	۱۱٫۷۵	۱۱٫۴۹	۱۱٫۳۱
CaO	۰٫۰۱	۰٫۰۶	۰٫۰۴
Na_2O	۰٫۲۲	۰٫۲۸	۰٫۳۱
K_2O	۹٫۱۱	۹٫۱۴	۹٫۲۳
BaO	۰٫۱۷	۰٫۰۰	۰٫۱۳
NiO	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۱
F	۰٫۲۹	۰٫۰۱	۰٫۱۳
Cl	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۶
OH	۳٫۹۳	۴٫۰۲	۳٫۷۷
O اضافی	۰٫۱۲	۰٫۰۱	۰٫۰۷
مجموع	۱۰۰٫۹۱	۱۰۰٫۰۳	۹۶٫۴۴
تعداد کاتیون ها بر پایه ۲۲ اکسیژن			
Si	۵٫۶۶	۵٫۶۷	۵٫۴۷
Ti	۰٫۰۹	۰٫۱۰	۰٫۱۱
Al iv	۲٫۳۴	۲٫۳۳	۲٫۵۳
Al vi	۰٫۸۹	۰٫۸۵	۰٫۷۶
Fe	۲٫۱۶	۲٫۲۲	۲٫۲۷
Mn	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲
Mg	۲٫۵۸	۲٫۵۵	۲٫۶۳
Ca	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Na	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۰٫۰۹
K	۱٫۷۱	۱٫۷۳	۱٫۸۴
Ba	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱
Ni	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
F-mol	۰٫۱۳	۰٫۰۱	۰٫۰۶
Cl-mol	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲
OH-mol	۳٫۸۷	۳٫۹۹	۳٫۹۲
Mg/Mg+Fe	۰٫۵۴	۰٫۵۳	۰٫۵۴

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.437]



شکل۳ جایگاه بیوتیت‌های تجزیه شده بر الف) نمودار Al^{IV} نسبت به Fe/(Fe+Mg) از مرجع [۱۶] و ب) نمودار Si نسبت به Fe/(Fe+Mg) از مرجع [۱۷].

گارنت: گارنت‌ها یکی از مهم‌ترین گروه کانی‌های ارتوسیلیکاتی هستند که در انواع گسترده‌ای از محیط‌های زمین‌شناسی یافت می‌شوند [۱۸]. در حقیقت، کانی‌های گروه گارنت مشخص کننده سنگ‌های دگرگونی هستند، اما در بعضی از سنگ‌های آذرین و همچنین در رسوبات به صورت دانه‌های تخریبی نیز دیده می‌شوند. گارنت را در اصل می‌توان شاخص سنگ‌زادی مفیدی تلقی کرد، البته نه فقط به دلیل پایداری آن در گستره وسیعی از دماها، بلکه توزیع آهسته کاتیون‌ها در گارنت موجب می‌شود که بتوان آن را در بسیاری از دماسنج‌ها به‌کار برد.

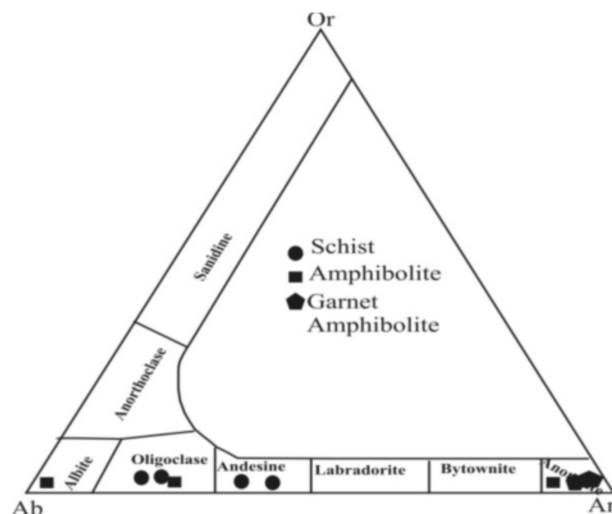
برای بررسی ترکیب شیمیایی گارنت در سنگ‌های مورد بررسی منطقه گل‌گهر، نمونه‌های مختلف گارنت میکاشیست‌ها با ریزکاو الکترونی تجزیه شدند. برای محاسبه درصد مولی اعضای نهایی گارنت بر حسب نسبت Fe^{+2}/Fe^{+3} و تعیین نوع گارنت، از روش ارائه شده در مرجع [۱۹] استفاده شد. ترکیب گارنت‌های موجود در گارنت میکاشیست‌های مورد بررسی غنی از آلماندین ($Alm_{61.55-63.31}$, $Sps_{4.02-6.58}$, $Prp_{9.54-13.97}$, $Grs_{18.82-20.73}$) است. گارنت‌های موجودر در گارنت آمفیبولیت‌های منطقه گل‌گهر نیز غنی از آلماندین ($Alm_{66.5-67.2}$, $Sps_{3.1-3.9}$, $Prp_{14.7-12.8}$, $Grs_{14.7-15.1}$) هستند (جدول ۲). چنان‌که دیده می‌شود، سه مؤلفه مهم در ترکیب گارنت‌های مورد بررسی عبارتند از آلماندین، پیروپ و گروسولار.

جدول۲ نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی گارنت در گارنت شیست‌ها و گارنت آمفیبولیت‌های منطقه گل‌گهر (درون کانی گارنت).

Points	GO4-70-8	GO4-70-7	GO4-70-6			GO2-98-1-6	GO2-98-1-7	
گارنت میکاشیست نمونه						گارنت آمفیبولیت		
(wt%) ترکیب اکسید								
SiO_2	۳۸٫۸۳	۳۸٫۱۰	۳۸٫۹۵			۳۷٫۳۴	۳۶٫۵۱	
TiO_2	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۵			۰٫۰۵	۰٫۰۰	
Al_2O_3	۲۱٫۱۵	۲۱٫۹۸	۲۱٫۷۱			۲۲٫۳۱	۲۱٫۷۰	
FeO	۲۸٫۶۴	۲۹٫۶۴	۲۹٫۴۰			۳۱٫۸۴	۳۱٫۳۵	
MnO	۱٫۸۴	۲٫۰۴	۱٫۹۷			۱٫۳۶	۱٫۶۶	
MgO	۳٫۵۶	۲٫۵۰	۲٫۶۵			۳٫۶۸	۳٫۱۴	
CaO	۷٫۵۳	۷٫۵۱	۶٫۸۷			۵٫۴۸	۵٫۴۸	
مجموع	۱۰۱٫۶	۱۰۱٫۸	۱۰۱٫۶			۱۰۲٫۰۶	۹۹٫۸۵	
تعداد کاتیون ها بر پایه ۱۲ اکسیژن								
Si	۳٫۰۳	۳٫۰۰	۳٫۰۱			۲٫۹۱	۲٫۹۱	
Ti	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰			۰٫۰۰	۰٫۰۰	
Al	۱٫۹۴	۱٫۹۹	۱٫۹۸			۲٫۰۵	۲٫۰۵	
Fe^{3+}	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱			۰٫۱۴	۰٫۱۳	
Fe^{2+}	۱٫۸۶	۱٫۹۰	۱٫۸۹			۱٫۹۳	۱٫۹۶	
Mn	۰٫۱۲	۰٫۲۰	۰٫۱۳			۰٫۰۹	۰٫۱۱	
Mg	۰٫۴۱	۰٫۲۹	۰٫۴۲			۰٫۴۳	۰٫۳۷	
Ca	۰٫۶۳	۰٫۶۲	۰٫۵۷			۰٫۴۶	۰٫۴۷	
Total	۸	۸	۸			۸	۸	
(mole fraction, %) مولفه های گارنت								
آلماندین	۶۱٫۵۵	۶۳٫۳۱	۶۲٫۸۹			۶۶٫۵۰	۶۷٫۲۰	
اسپسارتین	۴٫۰۲	۶٫۵۸	۴٫۲۸			۳٫۱	۳٫۹	
پیروپ	۱۳٫۶۶	۹٫۵۴	۱۳٫۹۷			۱۴٫۷	۱۲٫۸	
گروسولار	۲۰٫۷۳	۲۰٫۵۴	۱۸٫۸۲			۱۴٫۷	۱۵٫۱	

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.437]

فلدسپارها: نقاط مختلف از فلدسپارهای منطقه در نمونه‌های متاپلیتی با ریزکاوالکترونی تجزیه شدند. بر اساس تقسیم‌بندی مرجع [۱۸]، ترکیب پلاژیوکلاز شیست‌های منطقه در گستره‌ای $An_{12.98}$ تا $An_{41.12}$ قرار می‌گیرند. ترکیب پلاژیوکلاز در آمفیبولیت‌ها $An_{4.13-92.60}$، و در گارنت آمفیبولیت‌ها $An_{96.80-99.87}$ است (شکل ۴). نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی فلدسپارهای موجود در متاپلیت‌های منطقه در جدول ۳ ارائه شده است. افزایش مقدار انورتیت پلاییوکلاز در گارنت آمفیبولیت‌ها نسبت به آمفیبولیت‌ها و متاپلیت‌ها نشان از افزایش دما و فشار و پیشرفت دگرگونی دارد.



شکل ۴ رده‌بندی فلدسپارها در سنگ‌های دگرگونی منطقه گل‌گهر بر اساس نمودار مرجع [۱۶].

جدول۳ نتایج تجزیه ریزکاوالکترونی فلدسپارها در متاپلیت‌های منطقه گل‌گهر.

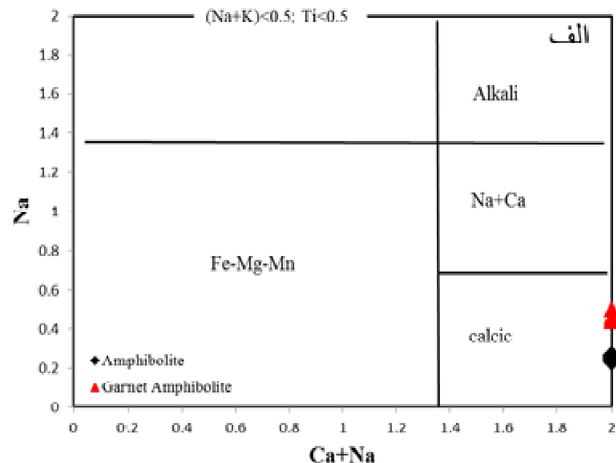
نقاط	۱-۳	۱-۴	۲-۶	۲-۷	۱-۸	۳-۷	۲-۷	۲-۱	۴-۶
سنگ		Micashist			Amphibolite			Garnet amphibolite	
Oxide composition (wt%)									
SiO_2	۵۹٫۴۸	۶۱٫۴۲	۶۳٫۸۳	۶۵٫۹۲	۶۴٫۰۶	۶۹٫۱۵	۶۶٫۲۳	۵۵٫۶۴	۳۶٫۰۹
Al_2O_3	۲۴٫۳۲	۲۳٫۳۰	۲۱٫۵۴	۲۱٫۴۸	۲۲٫۶۲	۲۰٫۵۶	۲۲٫۸۱	۲۲٫۹۶	۱۵٫۴۵
TiO_2	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۰
FeO_t	۰٫۷۶	۰٫۳۸	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۸	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۹	۰٫۰۱
MgO	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۶	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۳
Na_2O	۷٫۳۳	۷٫۰۲	۹٫۷۹	۸٫۸۱	۰٫۵۶	۱۱٫۱۱	۹٫۳۳	۰٫۰۳	۰٫۰۰
CaO	۹٫۳۳	۷٫۳۹	۲٫۶۶	۲٫۵۸	۱۳٫۴۰	۰٫۸۷	۳٫۴۹	۱۹٫۷۵	۴۸٫۹۵
MnO	۰٫۰۷	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
F	۰٫۰۰	۰٫۲۶	۰٫۱۹	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۱۵	۰٫۰۶
K_2O	۰٫۰۸	۰٫۱۱	۰٫۰۷	۰٫۱۴	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۹	۰٫۰۵
مجموع	۱۰۱٫۳۷	۹۹٫۸۴	۹۸٫۱۶	۹۹٫۰۷	۱۰۰٫۸۹	۱۰۱٫۷۷	۱۰۲٫۰۳	۹۹٫۱۳	۱۰۰٫۷۳
تعداد کاتیون ها بر پایه ۸ اکسیژن									
Si	۲٫۶۵	۲٫۷۴	۲٫۸۶	۱٫۰۵	۲٫۸۰	۲٫۹۷	۲٫۸۵	۲٫۵۶	۱٫۹۰
Al	۱٫۲۸	۱٫۲۳	۱٫۱۴	۰٫۴۰	۱٫۱۶	۱٫۰۴	۱٫۱۶	۱٫۲۵	۰٫۹۶
Ti	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Mg	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Na	۰٫۶۳	۰٫۶۱	۰٫۸۵	۰٫۲۷	۰٫۰۳	۰٫۹۲	۰٫۷۸	۰٫۰۲	۰٫۰۰
Ca	۰٫۴۴	۰٫۳۵	۰٫۱۳	۰٫۰۴	۰٫۶۳	۰٫۰۴	۰٫۱۶	۰٫۹۷	۲٫۷۶
Mn	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
F	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱
K	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰
مولفه های فلدسپار (mole fraction, %).									
Or	۰٫۴۱	۰٫۶۵	۰٫۴۱	۰٫۹۱	۰٫۴۴	۰٫۲۳	۰٫۲۳	۰٫۵۴	۰٫۱۳
Ab	۵۸٫۴۶	۶۲٫۸۲	۸۶٫۶۰	۸۵٫۳۲	۶٫۹۷	۹۵٫۶۴	۸۲٫۶۹	۲٫۶۶	۰٫۰۰
An	۴۱٫۱۲	۳۶٫۵۳	۱۲٫۹۸	۱۳٫۷۷	۹۲٫۶۰	۴٫۱۳	۱۷٫۰۸	۹۶٫۸۰	۹۹٫۸۷

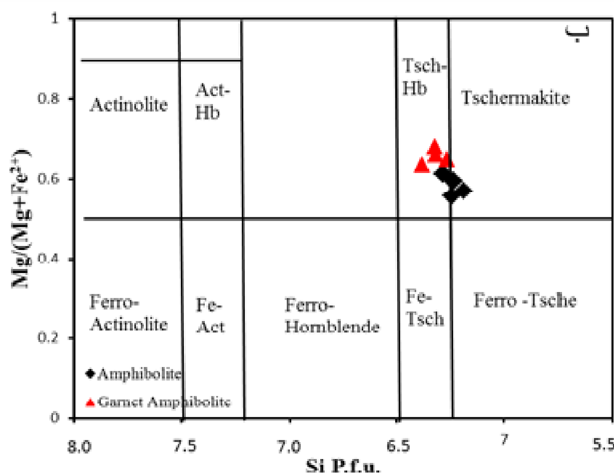
[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.437]

آمفیبول: آمفیبول، فراوان‌ترین کانی فرومنیزین در سنگ‌های منطقه گل‌گهر است. نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی آمفیبول‌های موجود در آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت‌ها، و فرمول ساختاری آن‌ها بر اساس ۲۳ اکسیژن در جدول ۴ ارائه شده است. بیشتر آمفیبول‌ها در دو گروه سنگی آمفیبولیت و گارنت آمفیبولیت، با داشتن مقادیر $(Na+K)_A<0.5$ و $Ti<0.5$، در گروه آمفیبول‌های کلسیمی قرار می گیرند [۲۰]. تنها یک نمونه آمفیبول در گارنت آمفیبولیت دارای مقدار Ti بیش از یک (۱٫۶۷۲ a.p.f.u)، اما مقدار $(Na+K)_A$ برابر با ۰٫۰۵۱ است. در گروه آمفیبولیت‌ها، سه نمونه مقدار $(Na+K)_A$ کمی بیش از ۰٫۵ دارند، اما مقدار Ti این نمونه‌ها کمتر از ۰٫۵ است. چنانکه در شکل ۵ الف نیز نمایان است، بر اساس رده‌بندی مرجع [۲۰]، ترکیب آمفیبول‌های مورد بررسی در گستره آمفیبول‌های کلسیمی قرار دارد. نامگذاری آمفیبول‌ها با استفاده از نمودار مرجع [۲۰]، در نمودار شکل ۵ ب آورده شده است براین اساس، ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها در گارنت آمفیبولیت-ها از نوع چرماکیت‌هورنبلند است. ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها در آمفیبولیت‌ها از نوع چرماکیت و چرماکیت‌هورنبلند است.

جدول ۴ نتایج تجزیه ریزکاوالکترونی آمفیبول‌های موجود در آمفیبولیت و گارنت‌آمفیبولیت‌های منطقه گل‌گهر.

نمونه		آمفیبولیت				گارنت آمفیبولیت			
نقاط	GO2-921-1	GO2-921-2	GO2-922-1	GO2-922-2	GO2-923-1	GO2-981-3	GO2-981-4	GO2-981-5	GO2-982-3
(Wt%) ترکیب اکسید									
SiO_2	۴۵٫۱۴	۴۴٫۵۵	۴۴٫۲۳	۴۵٫۱۴	۴۴٫۷۱	۴۴٫۶۳	۴۵٫۳۷	۴۴٫۰۳	۴۴٫۵۰
TiO_2	۰٫۶۸	۰٫۶۳	۰٫۸۷	۰٫۵۸	۰٫۷۷	۰٫۵	۰٫۵۵	۰٫۳۹	۰٫۶۰
Al_2O_3	۱۱٫۷۵	۱۲٫۳۷	۱۱٫۹۵	۱۱٫۵۶	۱۱٫۴۲	۱۴٫۷۰	۱۵٫۱۶	۱۶٫۶۲	۱۳٫۹۶
Fe_2O_3	۶٫۱۷	۶٫۸۶	۴٫۲۱	۶٫۵۰	۳٫۴۰	۹٫۵۰	۸٫۷۸	۸٫۳۷	۷٫۴۸
FeO	۱۲٫۳۹	۱۱٫۵۹	۱۳٫۷۹	۱۲٫۳۳	۱۳٫۵۰	۸٫۲۳	۹٫۰۹	۹٫۳۴	۹٫۳۴
MnO	۰٫۳۳	۰٫۳۲	۰٫۳۰	۰٫۳۱	۰٫۲۹	۰٫۲۴	۰٫۰۷	۰٫۱۲	۰٫۱۳
MgO	۱۰٫۱۵	۱۰٫۲۹	۹٫۶۴	۱۰٫۲۰	۹٫۹۹	۹٫۸۲	۹٫۹۰	۹٫۱۴	۹٫۷۱
CaO	۱۱٫۲۲	۱۱٫۲۲	۱۱٫۲۲	۱۱٫۲۸	۱۱٫۰۸	۹٫۸۲	۱۰٫۲۲	۱۰٫۲۳	۱۰٫۰۲
Na_2O	۱٫۶۰	۱٫۶۶	۱٫۵۷	۱٫۵۶	۱٫۵۸	۲٫۲۱	۲٫۱۳	۲٫۱۳	۲٫۹۱
K_2O	۱٫۱۰	۱٫۱۸	۱٫۳۱	۰٫۹۳	۱٫۲۴	۰٫۳۸	۰٫۳۹	۰٫۴۴	۰٫۳۳
F	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۱۸	۰٫۲۲	۰۰٫۰	۰۰٫۰	۰٫۳۳
Cl	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۱
OH	۲٫۰۷	۲٫۰۸	۲٫۰۲	۲٫۰۷	۱٫۹۴	۲٫۰۰	۲٫۱۴	۲٫۱۱	۱٫۹۰
~O	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۱۴
مجموع	۱۰۲٫۶۱	۱۰۲٫۷۳	۱۰۱٫۲۰	۱۰۲٫۵۸	۱۰۰٫۰۳	۱۰۲٫۲۳	۱۰۳٫۷۸	۱۰۲٫۹۵	۱۰۰٫۰۹
تعداد کاتیون ها بر پایه ۲۳ اکسیژن									
Si	۶٫۵۳	۶٫۴۳	۶٫۵۱	۶٫۵۳	۶٫۶۲	۶٫۳۶	۶٫۳۶	۶٫۲۴	۶٫۴۷
Ti	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۱۰	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۷
Al^{iv}	۱٫۴۷	۱٫۵۷	۱٫۴۹	۱٫۴۷	۱٫۳۸	۱٫۶۴	۱٫۶۴	۱٫۷۶	۱٫۵۳
Al^{vi}	۰٫۵۳	۰٫۵۴	۰٫۵۹	۰٫۵۰	۰٫۶۲	۰٫۸۲	۰٫۸۷	۰٫۰۱	۰٫۸۶
Fe^{3+}	۰٫۶۷	۰٫۷۴	۰٫۴۷	۰٫۷۱	۰٫۳۸	۱٫۰۲	۰٫۹۳	۰٫۸۹	۰٫۸۲
Fe^{2+}	۱٫۵۰	۱٫۴۰	۱٫۷۰	۱٫۴۹	۱٫۶۷	۰٫۹۸	۱٫۰۷	۱٫۱۱	۱٫۱۴
Mn	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲
Mg	۲٫۱۹	۲٫۲۱	۲٫۱۲	۲٫۲۰	۲٫۲۱	۲٫۰۹	۲٫۰۷	۱٫۹۳	۲٫۱۰
Ca	۱٫۷۴	۱٫۷۳	۱٫۷۷	۱٫۷۵	۱٫۷۶	۱٫۵۰	۱٫۵۴	۱٫۵۵	۱٫۵۶
Na	۰٫۴۵	۰٫۴۷	۰٫۴۵	۰٫۴۷	۰٫۴۵	۰٫۶۱	۰٫۵۸	۰٫۵۹	۰٫۵۴
K	۰٫۲۰	۰٫۲۲	۰٫۲۵	۰٫۱۷	۰٫۲۴	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۶
F-mol	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۸	۰٫۱۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۵
Cl-mol	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰
OH-mol	۱٫۹۹	۲٫۰۰	۱٫۹۸	۲٫۰۰	۱٫۹۲	۱٫۹۰	۲٫۰۰	۱٫۹۹	۱٫۸۵
Mg/(Mg+Fe)	۰٫۵۰	۰٫۵۱	۰٫۴۹	۰٫۵۰	۰٫۵۲	۰٫۵۱	۰٫۵۱	۰٫۴۹	۰٫۵۲





شکل ۵ الف) رده‌بندی آمفیبول‌های موجود در نمونه‌های آمفیبولیت و گارنت آمفیبولیت بر اساس نمودار مرجع [۲۰] که همه نمونه‌ها در گستره آمفیبول‌های کلسیمی قرار گرفته‌اند و ب) جایگاه ترکیبی آمفیبول‌ها در آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت‌های منطقه گل‌گهر، بر اساس نمودار تقسیم‌بندی آمفیبول‌های کلسیمی از مرجع [۲۰].

زمین دماسنجی و زمین فشارسنجی

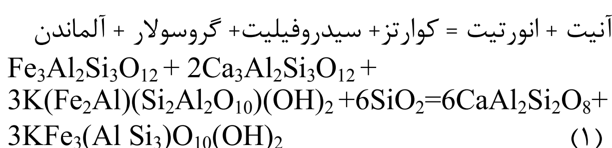
تعیین دما و فشار کانی‌ها با توجه به ترکیب شیمیایی آن‌ها بر این فرض استوار است که مجموعه کانی های هر سنگ در شرایط تعادلی تشکیل شده باشند. در واقع، این دما فشارسنجها بر اساس حساسیت توزیع عناصر در ساختار کانی‌ها و یا طی تبادلات شیمیایی، نسبت به دما و یا فشار طراحی شده‌اند. چندین روش برآورد دما و فشار در سنگ‌های دگرگونه رسی و متابازیتی پیشنهاد شده است. در این پژوهش برای تعیین دما و فشار تشکیل سنگ‌ها از کانی‌های همجوار در حال تعادل استفاده شد و همچنین با توجه به ترکیب کانی‌ها، روش مناسب از بین واسنجی‌های رایج انتخاب گردید (شکل‌های ۶ الف و ب).

زمین دماسنج گارنت-بیوتیت

دماسنجی بر پایه تغییرات مقادیر Fe و Mg در گارنت و بیوتیت‌های در حال تعادل و همزیست در سنگ‌های رسی همواره مورد توجه زمین‌شناسان بسیاری بوده است [۲۱-۲۵]. روش‌های اشاره شده دارای محدودیت‌هایی دارند. با بررسی محدودیت‌های هر روش و با توجه به ترکیب کانی‌های منطقه، از روش ارائه شده در مرجع [۲۱] استفاده شد. در این روش، از بیوتیت‌های دارای تیتانیم بالا (بیش از ۰/۱۶۳) و یا گارنت با X_{Spss} بالا (بیش از ۰/۲) نباید استفاده شود. دمای حاکم بر دگرگونی، با استفاده از مقادیر اکسیدهای بدست آمده از تجزیه‌های ریزکاو الکترونی، برآورد شد. دمای بدست آمده حدود ۵۵۰ تا ۵۷۸ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۵). گستره دمایی بدست آمده بیانگر اواخر رخساره شیست سبز تا اوایل رخساره آمفیبولیت است که با شواهد کانی‌شناسی این سنگ‌ها هم‌خوانی دارد.

فشارسنج گارنت- بیوتیت- پلاژیوکلاز- کوارتز

برای تعیین دما و فشار، از زمین دماسنج گارنت- بیوتیت- پلاژیوکلاز و کوارتز (GBPQ) واسنجی شده براساس مرجع [۲۶] استفاده شده که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس این روش و رابطه زیر، فشار ۳/۷ تا ۴/۶ کیلوبار برای میکاشیست‌ها به دست آمد:


آنیت + انورتیت = کوارتز+ سیدروفیلیت+ گروسولار + آلماندن

$$Fe_3Al_2Si_3O_{12} + 2Ca_3Al_2Si_3O_{12} + 3K(Fe_2Al)(Si_2Al_2O_{10})(OH)_2 + 6SiO_2 = 6CaAl_2Si_2O_8 + 3KFe_3(Al\ Si_3)O_{10}(OH)_2 \quad (۱)$$

دما فشارسنجی بر اساس ترکیب آمفیبول

زنک و همکارش [۲۷] وابستگی آلومینیوم به فشار و سیلیسیم به دما را در آمفیبول‌های کلسیمی موجود در مجموعه کانیایی آمفیبول + پلاژیوکلاز + کوارتز به طور تجربی نشان دادند. آنها این روش دمافشارسنجی را اصلاح کردند و می‌توان آن را در گستره ترکیبی گسترده‌ای از آمفیبول‌های کلسیمی به کار برد:

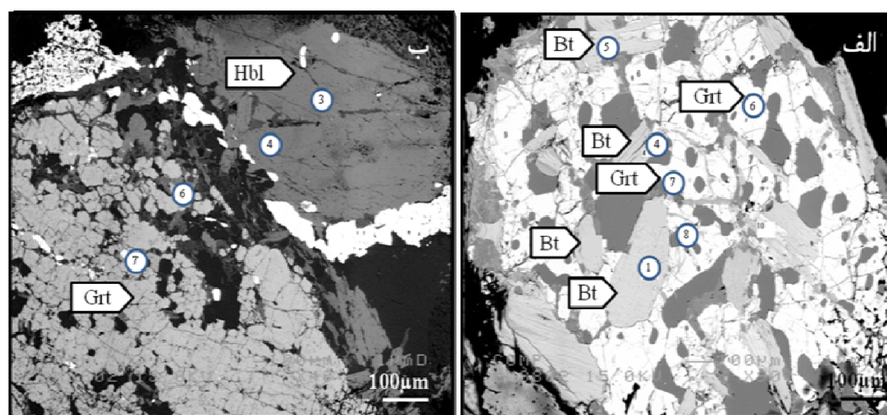
$$T\ [K] = 4701/(1.825 - 1.987\ln(8/15.5 - Si_{Am}/sum_{Kat} + 0.07531)) \quad (۲)$$

$$P\ [kbar] = ((-425 - 1719(XAl_M/(XAl_M + (Fe^{3+}_{Am}/2.763)) + 2.75\ T(K) + 1.987\ T(K)\ln(XAl_M)) + 1)/1000 \quad (۳)$$

که در این جا، T دما بر حسب کلوین، P فشار بر حسب کیلوبار، $XAl_M = (Si_{Am} + Al_{Am} - 8)/2.763$ و Si_{Am}، Al_{Am}، Fe^{3+}_{Am} و sum_{Kat} به ترتیب برابر با مقدار سیلیسیم،

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.437]

آلومینیم، Fe^{+3} و مجموع کاتیون‌ها در آمفیبول هستند. نتایج به دست آمده از دماسنجی دماهای ۵۸۹ تا ۶۱۳ درجه سانتی‌گراد را برای آمفیبولیت‌ها و ۶۱۳ تا ۶۴۱ درجه سانتی‌گراد را برای گارنت آمفیبولیت‌ها نشان می‌دهد (جدول ۷). فشارسنجی بر پایه این روش نیز فشارهای ۴/۷ تا ۴/۹ کیلوبار را برای آمفیبولیت‌ها و ۴/۳ تا ۵/۶ کیلوبار را برای گارنت آمفیبولیت‌ها نتیجه می‌دهد (جدول ۷).



شکل ۶ نقاط تجزیه شده توسط ریزکاوالکترونی نشان دهنده الف) وجود بیوتیت در گارنت‌های متاپلیت‌ها و ب) همجواری هورنبلند و گارنت در گارنت آمفیبولیت‌های منطقه گل‌گهر.

جدول ۵ نتایج دماسنجی به روش گارنت – بیوتیت برای متاپلیت‌های منطقه گل‌گهر.

نمونه	Go4-70-6	Go4-70-7	Go4-70-8
گارنت			
آلماندین	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۱
پیروپ	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۱۳
اسپسارتین	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۴
گروسولار	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۲۱
بیوتیت			
Mg/Mg+Fe	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۴
Ln Kd (Gt-Bi)	۱/۷	۲/۰۱	۱/۶۴
[21]	۵۵۰°C	۵۵۵°C	۵۷۸°C

جدول۶ نتایج فشارسنجی به روش GBPQ [۲۶] برای متاپلیت‌های منطقه گل‌گهر.

نقاط.	GO270-4-2	GO270-5-	GO270-5-2	GO270-6-1
Xalm	۰/۶	۰/۷	۰/۶	۰/۶
Xpyr	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲
Xgros	۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۲
Xan	۰/۰	۰/۷	۰/۵	۰/۴
Xab	۰/۷	۰/۳	۰/۵	۰/۶
Xor	۰/۳	۰/۰	۰/۰	۰/۰
lnKd(Mg)	-۱۵/۷	۱۳/۹	۴۳	۲/۷
lnKd(Fe)	-۲۱/۵	۸/۵	-۰/۸	-۲/۴
P(GBPQ, ave)	۴/۶	۳/۷	۴/۶	۴/۱
P(GBPQ, Model 1)	۶/۶	۴/۲	۵/۸	۵/۴
P(GBPQ, Model 2)	۲/۷	۳/۲	۳/۵	۲/۹

Xalm: مقدارفعالیت آرمانی آلماندین در گارنت؛ Xpyr: مقدارفعالیت آرمانی پیروپ در گارنت؛ Xgros: مقدارفعالیت آرمانی گروسولار در گارنت؛Xan: مقدار فعالیت آنورتیت در پلاژیوکلاز؛ Xab: مقدار فعالیت آلبیت در پلاژیوکلاز؛ Xor: مقدار فعالیت ارتوکلاز در پلاژیوکلاز؛ LnKd(Mg): ضریب توزیع Mgبین بیوتیت و گارنت؛ LnKd(Fe): ضریب توزیع Fe بین بیوتیت و گارنت؛ P(GBPQ, Model1): فشار محاسبه شده بر اساس روش یک فشارسنج؛ P(GBPQ, Model 2): فشار محاسبه شده بر اساس دو روش فشارسنج GBPQ؛ P(GBPQ, ave): میانگین فشار محاسبه شده بر اساس دو روش فشارسنج GBPQ.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.437]

جدول۷ برآورد دما و فشار دگرگونی بر اساس ترکیب آمفیبول [۲۷] منطقه گل‌گهر.

P (kb) ±1.2kb	T°C ±37°C	آمفیبولیت
۴٫۷	۶۰۱٫۲	GO2-92-1-1
۴٫۹	۶۱۳٫۲	GO2-92-1-2
۴٫۹	۶۰۷٫۹	GO2-92-2-1
۴٫۷	۶۰۱٫۲	GO2-92-2-2
۴٫۷	۵۸۹٫۹	GO2-92-3-1
	گارنت امفیبولیت	
۵٫۵	۶۲۸٫۴	GO2-98-1-3
۵٫۶	۶۲۷٫۲	GO2-98-1-4
۴٫۳	۶۴۱٫۸	GO2-98-1-5
۵٫۴	۶۱۳٫۷	GO2-98-2-3

برداشت

در منطقه گل‌گهر سنگ‌های مختلفی از جمله سنگ‌های دگرگونه رسی و متابازیتی با ترکیب کانی‌شناسی متفاوت مربوط به دو رخساره شیست سبز و آمفیبولیت حضور دارند. با حضور کانی‌هایی چون موسکویت، کلریت و کوارتز در متاپلیت-ها، همزمان با افزایش دما کانی‌های بیوتیت و گارنت ایجاد شده‌اند. ظهور مجموعه کانیایی هورنبلند + کوارتز و بدون پلاژیوکلاز نشان از ورود به رخساره آمفیبولیت دارد که در ادامه با اضافه شدن کانی‌هایی چون پلاژیوکلاز و گارنت به ترکیب سنگ به ترتیب آمفیبولیت و گارنت‌آمفیبولیت‌های مجموعه دگرگونی شکل گرفته‌اند. در نزدیکی کانسار، سیلیمانیت-شیست‌های منطقه گل‌گهر حضور دارند که آشکارا نشان از افزایش دما و پیشرفت دگرگونی دارد. نتایج دمافشارسنجی انجام شده برپایه تغییرات عناصر موجود در زوج گارنت-بیوتیت و گارنت-بیوتیت-پلاژیوکلاز و کوارتز نشان دهنده دمایی حدود ۵۵۰ تا ۵۷۸ درجه سانتی‌گراد و فشار ۳٫۷ تا ۴٫۶ کیلوبار برای میکاشیست‌هاست. دما و فشار محاسبه شده برای آمفیبولیت‌ها و گارنت آمفیبولیت‌ها به ترتیب ۵۸۹ تا ۶۱۳ درجه سانتیگراد و ۶۱۳ تا ۶۴۱ درجه سانتیگراد گزارش می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده، فشار حاکم بر گارنت آمفیبولیت‌های منطقه گل‌گهر برابر با ۴٫۳ تا ۵٫۶ کیلوبار است، در حالی که فشار به دست آمده از آمفیبولیت‌های مورد بررسی در منطقه گل‌گهر پایین‌تر و ۴٫۷ تا ۴٫۹ کیلوبار است. شرایط دما و فشار به‌دست آمده برای این سنگ‌ها نشان‌دهنده رخداد دگرگونی ناحیه‌ای پیشرونده از نوع ابوکوماست که با جایگاه زمین‌ساختی منطقه گل‌گهر و پهنه سنندج سیرجان به عنوان یک پهنه فرورانشی همخوانی دارد.

مراجع

[1] Yaghoobi A., "*Investigation of geochemistry and genesis of number 3 anomaly Gol-Gohar deposit*", Msc thesis, Shiraz Unieversity, (1999) (130p) (In persian).

[2] Poorkhak F., "*Paragenesis, Petrogenesis and Petrochemicals of Gol-Gohar Iron Ore (Anomaly No. 30)*" Msc thesis, Shahid Bahonar Unieversity, (2003) (296p) (In persian).

[3] Babaki A., Aftabi A.J., "*Investigation on the model of Iron mineralization at Gol-Gohar Iron deposit, Sirjan-Kerman*" Iranian of Geology Science, 16 (61) (2006) 40-59 (in Persian).

[4] Bayati rad Y., "*Investigation origin of Gol-Gohar iron deposit*", Msc thesis, Tehran Unieversity, (2009) (In persian).

[5] Asghari g., "*Investigation of genesis and formation conditions of Gol-Gohar iron ore deposit and host rocks*", Msc thesis, Tehran Unieversity, (2009) (In persian).

[6] Torabian S., "*Mineralization and genesis of number 3 anomaly in Gol-Gohar mine, based on the trace elements*", Msc thesis, Tarbiat Moalem Unieversity, Tehran (2006) (130p) (In persian).

[7] Dalfardi M., "*Investigation of sulfur origin in minerals of sulfide mines 1, 2 and 3 of Gol-Gohar Iron Ore"* Msc thesis, Damghan Unieversity, (2011) (134p).

[8] Wu C,M., Cheng B,H., "*Valid garnet–biotite (GB) geothermometry and garnet–aluminum silicate–plagioclase–quartz (GASP) geobarometry in metapelitic rocks*" Lithos 89 (2006) 1 – 23.

[9] Stockline J., "Structural history and tectonics of Iran", Areview- Amer: Ass. Petrol, Geol, Bull. 52.7 (1968) 1229-1258.

[10] Gilg H.A., Boni M., Balassone G., Allen C.R., Banks D., Moore F., "*Marble-hosted sulfide ores

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.437]

Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch, W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G., "*Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names*", Canadian Mineralogist, Vol. 35 (1997) 219-246.

[21] Hodges K. V. Y., Spear, F. S., "*Geothermometry, geobarometry and the Al_2SiO_5 triple point at Mt. Moosilauke:, New Hampshire*", American Mineralogist 67 (1982) 1118-1134.

[22] Dasgupta S., Sengupta P., Guha D., Fukuoka M.,"*A refined garnet-biotite Fe-Mg exchange geothermometer and its application in amphibolites and granulites*", Contributions to Mineralogy and Petrology 109 (1991) 130-137.

[23] Holdaway M. J., Lee S. M., "*Fe-Mg cordierire stabiliry in high grade pelitic rocks based on experimental, theoretical and natural observations*", Contribution to Mineralogy and Petrology 63 (1977) 175-198.

[24] Perchuk L.L., Lavrent'eva I.V., "*Experimental investigation of exchange equilibria in the system cordierite–garnet–biotite. In: Saxena, S.K. (Ed.), Kinetics and Equilibrium in Mineral Reactions*", Springer-Verlag, New York, (1983) 199–239.

[25] Ferry J.M., Spear F.S., "*Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet*", Contributions to Mineralogy and Petrology 66 (1978) 113– 117.

[26] Wu C., Zhang J., Ren L., *Empirical garnet-biotite-plagioclase-quartz (GBPQ) geobarometry in medium to high-grade metapelites*", Journal of Petrology 45 (2004) 1907-1921.

[27] Zenk M., Schulz B., "*Zoned Ca-amphiboles and related P-T evolution in metabasites from the classical Barrovian metamorphic zones in Scotland*", Mineralogical Magazine 68 (2004) 769-786.

in the Anguran Zn–(Pb–Ag) deposit, NWIran: interaction of sedimentary brines with a metamorphic core complex", Mineralium Deposita 41 (2006) 1–16.

[11] Daliran F., "*The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran—hydrothermal alteration and mineralization*", Mineralium Deposita 43 (2008) 383–404.

[12] Sabzehei M., "*Geological map of Iran, 1:00000 series, Gol-gohar quadrangle*", Geological Survey, Iran, (1994).

[13] Berberian M., "*Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics*", Tectonophysics 241 (1995) 193–224.

[14] Ghalamghash J., Mirnejad H.,"*Report of dating Gol-Gohar metamorphic complex, Tehran padir consulting engineer company*", 40p (2008).

[15] Whitney D., Evans B.,"*Abbreviations for names of rock forming minerals*", American mineralogist 95 (2010) 185-187.

[16] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "*An introduction to the rock forming minerals*", 2nd edition, Longman Scientific and Technical, London (1992).

[17] Foster M. D., "*Interpretation of the composition of trioctahedral micas"* United States Geological Survey Professional Paper, 354-B (1960) 11-46.

[18] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., "*Rock Forming Minerals*", Volume 2B. Double-Chain Silicates. Geological Society, London, 2nd edition (1997).

[19] Droop G. T. R., "*A general equation for estimating Fe3+ Concentration in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis, using stoichiometric criteria*", Mineralogical Magazine, 51 (1987) 431-435.

[20] Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C.,

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.437]